

LA $iPAR_c$ AFECTÓ LA DINÁMICA DE LLENADO Y DE ACUMULACIÓN RELATIVA DE ACEITE EN FRUTOS DE GIRASOL DEL HÍBRIDO DEKALB G-100

Dosio, G.A.A., Izquierdo, N.G. y Aguirrezábal, L.A.N. *

Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) - Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. C.C. 276 - (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Tel. (0266)-20313-21039-22040/41/42. FAX: (54)-266-21756. Email: laguirre@mdp.edu.ar

SUMMARY

The objective of this study was to determine if the effect of variations in cumulative intercepted photosynthetically active radiation ($iPAR_c$), during grain filling period, on individual dry weight and relative oil content of one sunflower hybrid, is due to changes in duration and/or growth rate in linear phase of the growing curve. After end of fecundation four treatments were made to vary $iPAR_c$ (72, 100, 133 and 256 % of the control). Fruit dry weight and oil relative content curves were made for all treatments. Temperature was measured in sunflower heads of all treatments. Variations of $iPAR_c$ affected oil relative content in the way of changes in linear phase duration of the curve. Individual dry weight growth rate was only lower in 72 % $iPAR_c$ treatment, while duration was only different for 256 % treatment. Temperature could not permit to explain the effects on the studied accumulation dynamics.

Key Words: sunflower, intercepted photosynthetically active radiation ($iPAR$), relative oil content, fruits dry weight.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de girasol es sembrado en Argentina principalmente para obtener aceite de sus frutos. La producción de aceite por planta depende del número de frutos por capítulo, el peso individual de los mismos y su cantidad relativa de aceite (porcentaje de aceite). Estos componentes del rendimiento individual de aceite se encuentran bajo control genético (por ejemplo, Fick y Zimmerman, 1973, para el porcentaje de aceite), pero pueden ser afectados por factores ambientales como la disponibilidad de nitrógeno (Steer et al, 1984), la de agua (Hall et al, 1989), la temperatura (Ploschuk y Hall, 1995), y la radiación incidente (Chimenti y Hall, 1992), e interceptada (Andrade y Ferreiro, 1996). Los componentes del rendimiento de aceite citados, se determinan en diferentes etapas

del ciclo del cultivo. Entre la fecundación de las flores y la madurez fisiológica, etapa habitualmente denominada de "llenado de los frutos", se determina el peso individual de los mismos. También durante esta etapa (aunque con un pequeño retardo en el comienzo con respecto al peso individual de los frutos), se define el porcentaje de aceite (Aguirrezábal et al, 1996). Recientemente, se encontró que variaciones en la acumulación de radiación fotosintéticamente activa interceptada ($iPAR_c$) durante la etapa de llenado de los frutos, pueden afectar la tasa de crecimiento del peso individual de frutos de girasol (Andrade y Ferreiro, 1996). Se desconoce, sin embargo, si las variaciones de la $iPAR_c$ afectan la dinámica de acumulación del contenido porcentual de aceite.

En el marco de un proyecto que tiene como finalidad el estudio y modelado del efecto de los factores ambientales sobre el contenido

* a quien dirigir la correspondencia.

relativo y la calidad del aceite de frutos de girasol, este trabajo tiene como objetivo: determinar, en un cultivar híbrido genéticamente apto para expresar un elevado porcentaje de aceite, si la $iPAR_c$ modifica la la tasa de la fase lineal de acumulación relativa de aceite y/o su duración, analizando dicha dinámica conjuntamente con la de acumulación de peso individual de frutos. Conocer esta respuesta sería de utilidad para poder incluirla en el modelado del efecto de la $iPAR_c$ sobre el porcentaje final de aceite de los frutos

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en el campo experimental de la Unidad Integrada Balcarce, Pcia de Buenos Aires ($37^{\circ} 45' LS$ y $58^{\circ} 18' LO$), durante la campaña agrícola 1993-94. El 30 de noviembre se sembraron en un suelo argiudol típico, semillas de girasol del cultivar híbrido Dekalb G-100. El diseño del experimento fue bloques completos aleatorizados (DBCA), con cuatro repeticiones. La siembra se efectuó a chorrillo en surcos espaciados a 0.70 metros. La densidad fue ajustada a 72000 plantas por hectárea cinco días después de la emergencia. El cultivo se mantuvo en condiciones hídricas y nutricionales no limitantes, y libre de plagas y enfermedades. Semanalmente se midió la humedad del suelo en varios puntos del ensayo, aplicando la técnica de dispersión de neutrones, con un equipo Troxler modelo 4300. Se regó cada vez que la lámina útil a 0.60 metros de profundidad caía por debajo del 40 % de la capacidad del suelo. El experimento se recorrió diariamente a partir del comienzo de la floración (5/2) para marcar las plantas florecidas ese día. Se consideró florecida aquella planta cuyo capítulo completó el primer círculo de florecillas con estambres visibles. A partir de fin de fecundación (florecillas centrales con estigmas retraídos) se aplicaron tratamientos ideados para lograr distintos valores de $iPAR_c$ durante la etapa

de llenado de los frutos. Estos tratamientos fueron los siguientes:

- 1-sombreo con malla plástica que reduce la radiación incidente al 50 %,
- 2-testigo,
- 3-raleo del cultivo para llevar la densidad a $\frac{1}{4}$ del testigo, combinado con sombreado, y
- 4-raleo del cultivo para llevar la densidad a $\frac{1}{4}$ del testigo

Con estos tratamientos se obtuvieron valores de $iPAR_c$ para el periodo fin de fecundación-madurez fisiológica de 72, 100 (46.76 MJ.planta⁻¹), 133 y 256 %, respectivamente. La radiación global se registró con un piranómetro (SIAP Bimetallic, Model PL1) ubicado a menos de 400 metros del experimento, y se transformó a PAR multiplicando por 0.48. El porcentaje de radiación interceptada para cada tratamiento se estimó, a partir de mediciones del PAR, por la siguiente ecuación: $[1-(R_b/R_s)] \cdot 100$, donde R_b es la radiación medida bajo la última hoja verde y R_s la medida sobre la canopia. Los valores de R_b y R_s se midieron con una barra integradora (Line Quantum Sensor) y registraron en una central almacenadora de datos (Li-Cor 1000). Las mediciones fueron semanales y se obtuvieron siguiendo la técnica propuesta por Gallo y Daughtry (1986). La temperatura de capítulos fue medida con una frecuencia horaria, para cada tratamiento, con pequeños transistores ubicados en la zona de inserción de los frutos, durante toda la etapa de llenado y registrada en una central almacenadora de datos (Li-Cor 1000). Datos de temperatura de aire fueron también obtenidos de una estación meteorológica ubicada a 600 metros del experimento. A partir de inicio de floración se muestrearon entre 3 y 5 capítulos por tratamiento y repetición, cada 3-4 días. El procesamiento de las muestras consistió en la extracción manual de los frutos, su limpieza y separación en frutos llenos y no llenos, considerándose lleno aquel fruto en el cual su pepa (semilla botánica) ocupó más del 20 % del espacio interior del fruto. Los frutos llenos fueron contados y pesados. El

contenido relativo de aceite se midió con un equipo de resonancia magnético-nuclear (RMN, Newport Analyser, Magnet Type 10. Oxford Instruments)(Robertson y Morrison, 1979). A partir de estos datos se obtuvieron las curvas de acumulación de peso seco individual de frutos y porcentaje de aceite. Se identificó la parte lineal de las mismas según Johnson y Tanner (1972), para cada uno de los 4 tratamientos. Para calcular la tasa y duración de la parte lineal de las curvas se ajustaron modelos de regresión lineal entre el porcentaje de aceite de los frutos obtenido para plantas individuales y el tiempo transcurrido desde la floración de dicha planta (General Linear Models Procedure - SAS System of Software products. SAS Institute Inc.). Similar procedimiento se realizó con el peso individual de los frutos y el tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una síntesis de los datos de temperatura y radiación solar para el sitio del experimento, durante los meses de implantación del cultivo, se presenta en la Tabla N° 1.

Datos Climáticos	Temperatura Media (°C)	Radiación Solar ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)
Noviembre	16.3	21.7
Diciembre	19.1	26.2
Enero	20.3	24.0
Febrero	19.6	23.6
Marzo	18.2	16.1

Tabla N° 1: Temperatura y radiación solar media mensual en el sitio del experimento, correspondiente a los meses en los que el cultivo se hallaba implantado.

En ella, observamos que la temperatura se incrementó 4 °C entre noviembre y enero, y descendió más lentamente hacia marzo. La radiación solar fue máxima en diciembre y sufrió una brusca caída en marzo. El llenado de los frutos y la acumulación del aceite se produjeron aproximadamente desde el 15 de febrero hasta fin del mes de marzo, incluyendo gran parte de la caída de la radiación. Esto ocurre comúnmente en siembras tardías en Balcarce (Andrade, 1995), como la correspondiente a nuestro experimento.

Los resultados experimentales de la evolución del porcentaje de aceite en frutos de plantas individuales, en los tratamientos sombreado y raleado, se presentan en la Figura N° 1 (no se incluye a los otros dos tratamientos para facilitar la visualización).

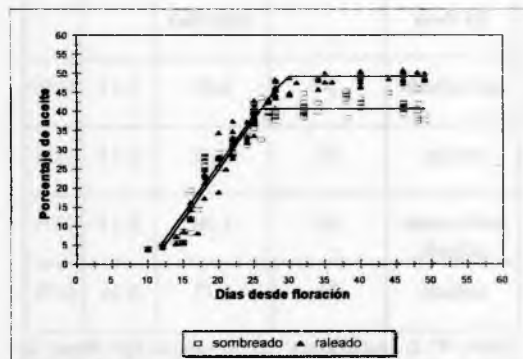


Figura N° 1: Evolución del porcentaje de aceite para los tratamientos sombreado y raleado. Los símbolos representan los resultados experimentales. Las líneas representan las funciones ajustadas a los mismos para la fase lineal y el plateau, en ambos tratamientos.

Se observa para ambos tratamientos una fase creciente con tendencia lineal, que se estabiliza en diferentes porcentajes de aceite para cada tratamiento, siguiendo igual jerarquía que la $i\text{PAR}_c$. Las nubes de puntos experimentales pertenecientes a ambos tratamientos se confunden en la parte creciente de la curva. El análisis de regresión mostró una pendiente similar para todos los tratamientos durante dicha fase creciente, independientemente de los grandes cambios en la cantidad de radiación interceptada por

las plantas (Figura N° 1 y Tabla N° 2a). La duración, en cambio, fue mayor a medida que la iPAR_c se incrementaba (Tabla N° 2a). El final de la acumulación relativa de aceite ocurrió a los 25, 26, 27 y 29 días a partir de floración, para los tratamientos sombreado, testigo, sombreado-raleado y raleado, respectivamente.

a) % aceite	Duración (días)	Tasa (% / día)	ce	r ²
sombreado	13	2.57	0.20	0.83
testigo	14	2.72	0.12	0.92
sombreado-raleado	15	2.61	0.11	0.92
raleado	17	2.63	0.09	0.94
b) Peso		(mg / día)		
sombreado	20	0.81	0.12	0.50
testigo	20	1.38	0.15	0.71
sombreado-raleado	20	1.36	0.14	0.73
raleado	23	1.33	0.10	0.73

Tabla N° 2: Duraciones y tasas para la fase lineal de las curvas de acumulación de a) aceite (% de aceite) y b) peso individual de frutos (Peso), como así también los errores estándar (ce) de las tasas y los coeficientes de determinación (r²) de las respectivas regresiones lineales, para todos los tratamientos.

En la Figura N° 2, observamos la curva de acumulación del peso individual de frutos, para los mismos tratamientos. Se aprecia una mayor variabilidad que la encontrada para el porcentaje de aceite, especialmente en el tratamiento sombreado. Estos resultados están parcialmente de acuerdo con Andrade y Ferreyro (1996), que muestran diferencias en la tasa de llenado de frutos del mismo cultivar híbrido, para tratamientos sombreado, testigo y raleado. En nuestro experimento la tasa de llenado obtenida resultó menor en el tratamiento sombreado,

respecto del resto de los tratamientos, que no se diferenciaron entre sí (Tabla N° 2b). La duración fue similar, excepto en el tratamiento raleado, en el que fue 3 días mayor (Tabla N° 2b). El final de la acumulación de peso individual de los frutos fue a los 30 días después de floración en los tratamientos sombreado, testigo y sombreado-raleado, y a los 33 días después de floración en el tratamiento raleado.

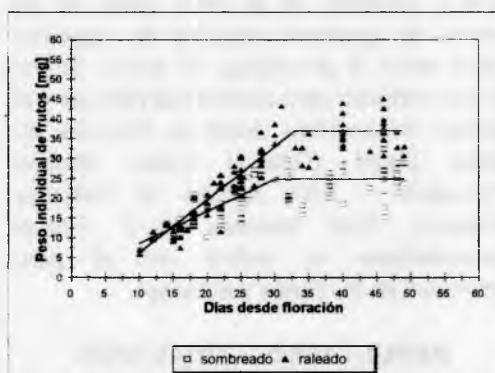


Figura N° 2: Evolución del peso individual de frutos para los tratamientos sombreado y raleado. Los símbolos representan los resultados experimentales. Las líneas representan las funciones ajustadas para la fase lineal y el plateau en ambos tratamientos.

El análisis de las temperaturas de capítulos medidas en la zona de inserción de los frutos, no permitió explicar las diferencias halladas entre los tratamientos en la duración de la etapa lineal de la curva de acumulación relativa de aceite, dado que siguieron distinta jerarquía. Los promedios de las temperaturas medias diarias registrados durante la citada fase fueron: 19.8°C (± 2.48), 20.7°C (± 2.27), 19.9°C (± 2.55) y 20.7°C (± 2.40), para los tratamientos sombreado, testigo, sombreado-raleado y raleado, respectivamente. Tampoco pudieron explicarse estas diferentes duraciones calculando los promedios de temperaturas para otros periodos de interés: duración de la parte lineal de la curva de acumulación relativa de aceite del tratamiento de menor duración, floración-fin de acumulación relativa de aceite y floración-fin de acumulación relativa de aceite del

tratamiento de menor duración. Una metodología similar se utilizó para el análisis de la variable peso individual de frutos, pero tampoco aquí las temperaturas permitieron explicar las diferencias observadas entre tratamientos en tasas y duraciones de la etapa lineal de acumulación.

Los tratamientos aplicados fueron capaces de decorrelacionar la $iPAR_c$ de la temperatura, ya que las jerarquías de ambas no se corresponden (los tratamientos sombreados tuvieron un promedio de temperatura media diaria aproximadamente 1°C menor a los no sombreados, pero la $iPAR_c$ del tratamiento sombreado-raleado fue mayor que la del testigo), haciendo improbable que el efecto de la $iPAR_c$ enmascare un efecto directo de la temperatura. Por otra parte, la temperatura se relaciona inversamente con la duración del periodo de llenado de los frutos (Ploschuk y Hall, 1995, Villalobos et al, 1996). En nuestro experimento una mayor $iPAR_c$ fue capaz de alargar la duración de la etapa lineal de acumulación de peso individual de frutos y de contenido relativo de aceite, a pesar de registrar la mayor temperatura, sugiriendo esto la probable importancia de la $iPAR_c$ en la determinación de la duración de estas etapas.

CONCLUSIONES

Nuestros resultados muestran que cambios en la $iPAR_c$ durante el llenado de los frutos de girasol pueden afectar no sólo el crecimiento de frutos individuales, sino también la dinámica de acumulación del porcentaje de aceite de los mismos, modificando, en el caso de esta última variable, la duración de la etapa lineal de su curva de acumulación. Desde el punto de vista productivo, la aplicación de prácticas agronómicas que maximicen la $iPAR_c$ (fechas de siembra adecuadas, control de insectos que causan daños en hojas), sería deseable, al menos en el híbrido utilizado, para prolongar la fase lineal de acumulación y por lo tanto mejorar el porcentaje de

aceite. Por otra parte, a efectos del modelado del porcentaje de aceite de los frutos de girasol, los resultados presentados en este trabajo representan una primera aproximación para establecer las bases experimentales del efecto del $iPAR_c$ sobre la dinámica de acumulación del contenido relativo de aceite. Mayor investigación es, sin embargo, necesaria en este tema, ya que las relaciones aquí presentadas, obtenidas en un cultivar híbrido con capacidad para producir un elevado porcentaje de materia grasa, y sembrado en una fecha tardía, deberían ser exploradas en un rango mayor de $iPAR_c$, en capítulos con diferente número de frutos (no afectado por nuestros tratamientos), y en genotipos de diferente potencial de contenido relativo de aceite.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a las Sras. Cristina Larraburu y Silvina García Mayer por su colaboración en el procesado de las muestras, y al Sr. Aldo Dosantos por su dedicación en el cuidado del experimento en el campo. Este trabajo se financió con aportes de las empresas Oleaginosa Moreno Hnos., Nidera S.A. y Aceitera General Deheza, en el marco del Proyecto INTA 25-62-0167: "Estudio y modelización del efecto de factores ambientales que afectan el tenor y la calidad de aceite y de los subproductos de girasol".

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirrezábal, L.A.N., Orioli, G.A., Hernández, L., Pereyra, V.R. y Miravé, J. P., 1996. Girasol: aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Editorial Unidad Integrada Balcarce, 127 pp.
- Andrade, F. H., 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.*, 41: 1-12.
- Andrade, F.H. y Ferreyro, M.A., 1996. Reproductive growth of maize, sunflower

and soybean at different source levels during grain filling. *Field Crops Res.*, 48: 155-165.

Chimenti, C.A. y Hall, A.J., 1992. Sensibilidad del número de frutos por capítulo de girasol (*Helianthus annuus* L.) a cambios en el nivel de radiación durante la ontogenia del cultivo. *Actas Reunión Argentina de Fisiología Vegetal*. Huerta Grande, Córdoba.

Dosio, G.A.A., Pereyra, V.R., Nolasco, S.M. y Aguirrezábal, L.A.N., 1995. Influencia de la radiación fotosintéticamente activa durante el llenado de los frutos de girasol. I Rendimiento de aceite en dos híbridos de diferente porcentaje de aceite potencial. *Actas II Reunión Nacional de Oleaginosos*. Pergamino, Bs.As., Tomo II, pp. 1-6.

Fick, G.N. y Zimmerman, D.C., 1973. Variability in oil content among heads and seeds within heads of sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 50: 529-531.

Gallo, K. P. y Daughtry, C. S., 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agron. J.*, 78: 752-756.

Hall, A. E., Connor, D. J. y Whitfield, D. M.,

1989. Contribution of pre-anthesis assimilates to grain filling in irrigated and water-stressed sunflower crops. I. Estimates using labelled carbon. *Field Crops Res.*, 20: 95-112.

Johnson, D.R. and Tanner, J.W., 1972. Calculation of the rate and duration of grain filling in corn (*Zea mays* L.). *Crop Science*, 12: 485-486.

Ploschuk, E.L. y Hall, A.J., 1995. Capitulum position in sunflower affects grain temperature and duration of grain filling. *Field Crops Res.*, 44: 111-117.

Robertson, J.A. y Morrison, W.H., 1979. Analysis of oil content in sunflower seed by wide-line NMR. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 56: 961-1064.

Steer, B. T., Hocking, P. J., Kort, A. A. y Roxborough, C. M., 1984. Nitrogen nutrition of sunflower (*Helianthus annuus* L.): yield components, the timing of their establishment and seeds characteristics in response to nitrogen supply. *Field Crops Res.*, 9: 219-236.

Villalobos, F.J., Hall, A.J., Ritchie, J.T. y Orgaz, F., 1996. OILCROP-SUN. A development, growth, and yield model of the sunflower crop. *Agronomy J.*, 88: 403-415.